

(54) A thermal-load reduced power supply lead having a ceramic superconductor

(57) The invention relates to a power supply lead for connecting a load user system, which is at a low temperature below 10 K, to a power source which is at a normal temperature above 270 K, comprising a normally conductive first component conductor (16) and a superconductive second component conductor (1) which is interconnected between the former one and the load user system wherein the second component conductor (1), according to the invention, at least in part comprises a ceramic superconductor, preferably a high-temperature superconductor. Apart from largely avoiding a thermal load on the load user system because of an ohmic loss which arises in the power supply lead while a current is passed therethrough the use of the ceramic superconductor (1) helps achieve a further reduction in heat conduction to the load user system. Specifically, the power supply lead finds an application in conjunction with supraconductive magnets.



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑩ **Offenlegungsschrift**
DE 44 30 408 A 1

⑤1 Int. Cl.⁶:
H 01 R 4/68
H 01 B 12/00
H 01 F 6/00
H 01 B 12/04
// G 01 R 33/48

②1 Aktenzeichen: P 44 30 408.0
②2 Anmeldetag: 26. 8. 94
④3 Offenlegungstag: 27. 7. 95

DE 44 30 408 A 1

Mit Einverständnis des Anmelders offengelegte Anmeldung gemäß § 31 Abs. 2 Ziffer 1 PatG

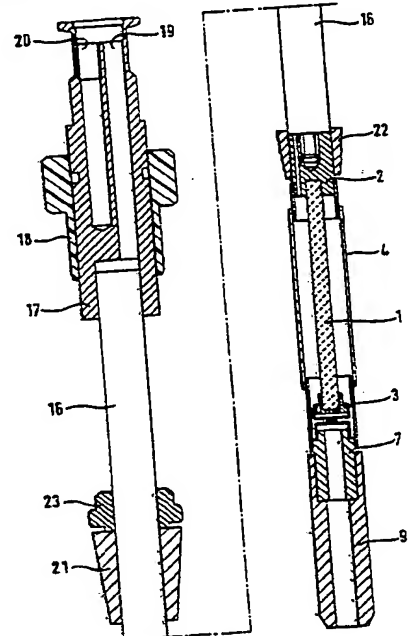
⑦1 Anmelder:
Siemens AG, 80333 München, DE

⑦2 Erfinder:
Rudolf, Bernd, Dr., 51545 Waldbröl, DE; Overweg,
Johan, Dr., 51465 Bergisch Gladbach, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Wärmelast-reduzierte Stromzuführung mit einem keramischen Supraleiter

⑤7 Die Erfindung betrifft eine Stromzuführung zur Verbindung eines auf einer Tieftemperatur unterhalb von 10 K befindlichen Verbrauchersystems mit einer auf einer Normaltemperatur oberhalb von 270 K befindlichen Stromquelle, umfassend einen normalleitfähigen ersten Teileiter (16) und einen zwischen diesen und das Verbrauchersystem geschalteten, supraleitfähigen zweiten Teileiter (1), wobei erfindungsgemäß der zweite Teileiter (1) zumindest teilweise aus einem keramischen Supraleiter, vorzugsweise einem Hochtemperatursupraleiter, besteht. Neben der weitgehenden Vermeidung einer thermischen Belastung des Verbrauchersystems durch ohmsche Verluste, die beim Durchleiten eines Stroms in der Stromzuführung entstehen, wird durch die Verwendung des keramischen Supraleiters (1) eine weitere Verringerung der Wärmeleitung zu dem Verbrauchersystem erreicht. Die Stromzuführung findet insbesondere Anwendung im Zusammenhang mit supraleitfähigen Magneten.



DE 44 30 408 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen
BUNDESDRUCKEREI 05. 95 508 030/378

Die Erfindung betrifft eine Stromzuführung zur Verbindung eines auf einer Tieftemperatur unterhalb von 10 K befindlichen Verbrauchersystems mit einer auf einer Normaltemperatur oberhalb von 270 K befindlichen Stromquelle, umfassend einen normalleitfähigen ersten Teilleiter und einen zwischen diesen und das Verbrauchersystem geschalteten, supraleitfähigen zweiten Teilleiter.

Die Erfindung bezieht sich insbesondere auf eine Stromzuführung für ein Verbrauchersystem, insbesondere einen supraleitenden Magneten, welches bei der Temperatur des flüssigen Heliums, also bei 4,2 K unter Normaldruck, arbeitet. Ein Problem, das jedwede derartige Stromzuführung stellt, ist die Gewährleistung, daß möglichst wenig Wärme zu dem Verbrauchersystem gelangt.

Stromzuführungen der eingangs genannten Art sind in einer Vielzahl von Ausführungsformen im Einsatz. Die zumeist verwendeten Stromzuführungen der eingangs genannten Art kommen zum Einsatz an Verbrauchersystemen, die mit flüssigem Helium gekühlt werden und werden ihrerseits gekühlt durch gasförmiges Helium, welches durch Verdampfung des flüssigen Heliums entsteht. Eine solche Stromzuführung trägt bei sogenanntem optimalem Betrieb, also dann, wenn sie mit einem Strom in einer Höhe beaufschlagt wird, für die sie speziell ausgelegt wurde (Nennstrom), einen Wärmeeintrag von etwa 1 mW/A in das flüssige Helium ein. Nachteilig an einer derartigen Stromzuführung ist, daß ständig Heliumgas in angemessener Menge für die Kühlung zur Verfügung stehen muß, so daß eine derartige Stromzuführung nur mit einem Verbrauchersystem von mehr als einer bestimmten Mindestgröße sinnvoll ist. Für ein relativ kleines Verbrauchersystem, das nur wenig flüssiges Helium zu seiner Kühlung erfordert, ist eine solche Stromzuführung nicht oder nur mit erheblichem Zusatzaufwand verwendbar.

Es sind auch Stromzuführungen im Einsatz, die allein über Wärmeleitung durch Festkörper gekühlt werden. Eine derartige Stromzuführung kann auch zusammen mit einem relativ kleinen Verbrauchersystem verwendet werden, die durch eine solche Stromzuführung zum Verbrauchersystem gelangende Wärme ist allerdings etwa doppelt so hoch wie die Wärme, die eine mit Heliumgas gekühlte Stromzuführung verursacht. Dieser Nachteil kann auch nur teilweise ausgeglichen werden dadurch, daß die Kühlung der Stromzuführung mehrstufig ausgelegt ist, wobei entlang ihrer an vorbestimmten Stellen vorbestimmte Temperaturen in absteigender Reihenfolge (300 K—80 K—18 K—4 K) erzwungen werden.

Eine dritte Alternative für eine Stromzuführung bekannter Art ist die "abziehbare" Stromzuführung, die dann zum Einsatz kommt, wenn das Einspeisen eines Stroms in ein auf einer Tieftemperatur befindliches Verbrauchersystem nicht dauernd, sondern nur vereinzelt erfolgen muß; in Frage kommt dies z. B. bei supraleitenden Magneten für Kernspintomographen mit geschlossener Wicklung. Bei einer abziehbaren Stromzuführung ist die Verringerung der Wärmezufuhr zu dem Verbrauchersystem lediglich ein untergeordnetes Kriterium, da es in erster Linie auf eine möglichst einfache Handhabung beim Ankoppeln und Abkoppeln an das Verbrauchersystem ankommt.

Es ist weiterhin bekannt, eine Stromzuführung ihrerseits zumindest teilweise supraleitfähig auszugestalten,

um den durch ohmsche Verluste verursachten Wärmeeintrag in das Verbrauchersystem zu verringern. Der Supraleiter ist dabei ein Supraleiter desselben Typs wie derjenige, der in dem Verbrauchersystem eingesetzt ist.

Aufgabe der Erfindung ist die Angabe einer Ausgestaltung der eingangs beschriebenen Stromzuführung, die einen besonders geringen Wärmeeintrag in das auf der Tieftemperatur befindliche Verbrauchersystem verursacht.

Zur Lösung dieser Aufgabe angegeben wird eine Stromzuführung zur Verbindung eines auf einer Tieftemperatur unterhalb von 10 K befindlichen Verbrauchersystems mit einer auf einer Normaltemperatur oberhalb von 270 K befindlichen Stromquelle, umfassend einen normalleitfähigen ersten Teilleiter und einen zwischen diesen und das Verbrauchersystem geschalteten, supraleitfähigen zweiten Teilleiter, wobei dieser zweite Teilleiter zumindest teilweise aus einem keramischen Supraleiter besteht.

Ein wichtiger Vorteil der Erfindung liegt darin, daß zusätzlich zu der aufgrund der Supraleitfähigkeit des zweiten Teilleiters und der dadurch bereits verringerten Erzeugung von Wärme in der Stromzuführung eine deutliche Verringerung der Wärmeleitung durch die Stromzuführung zu dem Verbrauchersystem erreicht wird, da ein keramischer Supraleiter eine deutlich geringere Wärmeleitfähigkeit hat als ein vergleichbarer metallischer Supraleiter. Gegenüber den bekannten Stromzuführungen kann eine wesentliche Reduzierung der Wärmelast, die das Verbrauchersystem mit der durch die Stromzuführung zufließenden Wärme erfährt, erreicht werden.

Der keramische Supraleiter ist bevorzugtermaßen ein Hochtemperatursupraleiter nach Art der Zusammensetzungen $Y_1Ba_2Cu_3O_x$ und $Bi_2Ca_2SrCu_2O_x$. Hierdurch ist es möglich, den zweiten Teilleiter bis zu einer Stelle in der Stromzuführung reichen zu lassen, an der eine Zwischentemperatur vorliegt, die deutlich oberhalb von 10 K liegt. Es ist auf diese Weise wesentlich mehr als bisher möglich, die Erzeugung von Wärme in der Stromzuführung zu begrenzen. Auch wird durch die erfindungsgemäß ausgenutzte besonders geringe Wärmeleitfähigkeit des keramischen Supraleiters in dem zweiten Teilleiter eine weitere wesentliche Verbesserung im Hinblick auf Wärmeeintrag in das Verbrauchersystem durch Wärmeleitung möglich.

Mit besonderem Vorzug ist der in der Stromzuführung eingesetzte Hochtemperatursupraleiter eine supraleitfähige Zusammensetzung aus Wismut, Calcium, Strontium, Kupfer und Sauerstoff, und zwar der chemischen Formel $Bi_2Ca_2SrCu_2O_x$. Diese Zusammensetzung hat eine bei entsprechenden Temperaturen besonders geringe Wärmeleitfähigkeit und vermag daher die Vorteile der Erfindung in besonderer Weise zu gewährleisten.

Der Supraleiter in dem zweiten Teilleiter ist vorzugsweise mit Kontaktschuhen aus Kupfer kontaktiert. Weiterhin bevorzugt ist der Supraleiter von einer metallischen Hülse umgeben und mit dieser kraftschlüssig verbunden. Diese Ausgestaltung begegnet in besonders günstiger Weise den problematischen mechanischen Eigenschaften eines keramischen Supraleiters, insbesondere seiner Sprödigkeit, da die metallische Hülse alle auf den Supraleiter ausgeübten Kräfte aufnehmen und ausgleichen kann. Die Hülse ist mit weiterem Vorzug dem Supraleiter elektrisch parallelgeschaltet und bietet somit einen im Notfall zur Verfügung stehenden Pfad zur Aufnahme eines die Stromzuführung durchfließenden

Stroms, wenn der Supraleiter aus irgendeinem Grunde ausfällt. Ein solcher Notfall kann ein Bruch des Supraleiters oder, weniger gefährlich, dafür aber wahrscheinlicher, ein vollständiger oder teilweiser zeitweiser Verlust der Supraleitfähigkeit durch lokale Aufwärmung oder dergleichen sein.

Ein bevorzugtes Material für die Hülse ist Edelstahl, der sich auszeichnet durch geringe Wärmeleitfähigkeit und mechanische Robustheit bei ausreichender elektrischer Leitfähigkeit.

Die Verbindung des Supraleiters mit der Hülse beinhaltet vorzugsweise ein insbesondere aus Kupfer bestehendes Federelement, welches eventuelle Diskrepanzen zwischen einer Wärmedehnung des Supraleiters und einer Wärmedehnung der Hülse ausgleicht. Dieses Federelement ist mit weiterem Vorzug an demjenigen Ende des Supraleiters befestigt, welches auf die Tieftemperatur abzukühlen ist. Dies ist von besonderer Bedeutung dann, wenn das Federelement aus Kupfer besteht, da die Leitfähigkeit von Kupfer mit sinkender Temperatur ebenfalls sinkt.

Damit die Hülse im Notfall eine durch die Stromzuführung geleiteten Strom aufnehmen kann, ist sie vorzugsweise ausgelegt zur kurzzeitigen Leitung eines Stroms, welcher einem Nennstrom entspricht, für dessen Leitung die Stromzuführung ausgelegt ist. Dies ist insbesondere damit realisiert, daß die Hülse ausgelegt ist zur Leitung des Stroms mit einer Stromdichte von höchstens 15 A/mm², vorzugsweise von höchstens 10 A/mm². Dies stellt sicher, daß der Strom zumindest einige Sekunden lang durch die Hülse fließen kann, ohne eine übermäßige Erwärmung hervorzurufen. Zur Aufwärmung auf 300 K wurde eine Hülse aus üblichem Edelstahl bei einer Stromdichte von 10 A/mm² einen Zeitraum von typisch 10 s erfordern.

Der normalleitende erste Teilleiter der Stromzuführung ist vorzugsweise ein metallisches Rohr und besteht mit weiterem Vorzug aus einer Legierung, insbesondere einer Aluminiumbasislegierung nach Art des bekannten Werkstoffs AlMg₃. Die Bevorzugung von Legierungen gründet sich insbesondere darauf, daß Legierungen im Vergleich zu reinen Metallen eine günstigere Abhängigkeit der elektrischen Leitfähigkeit von der Temperatur bei den vorliegend maßgeblichen tiefen Temperaturen aufweisen. Die Bevorzugung von Aluminiumwerkstoffen erklärt sich aus der Möglichkeit, durch Anodisieren in einfacher Weise eine Isolationsschicht aufbringen zu können, der guten Wärmeleitfähigkeit sowie den guten mechanischen Eigenschaften wie gute Haftfähigkeit, geringe Abriebsneigung und niedriger Reibungskoeffizient.

Außerdem bevorzugt ist es, daß der erste Teilleiter und der zweite Teilleiter an einer Verbindungsstelle miteinander verbunden sind, welche zum Betrieb der Stromzuführung auf eine Temperatur von etwa 20 K abzukühlen ist. Diese Temperatur stellt sicher, daß die Stromtragfähigkeit des Supraleiters an jeder Stelle ausreichend hoch ist auch dann, wenn zeitweise eine zur Abkühlung der Stromzuführung eingesetzte Kühlmachine ausfällt, und ist, insbesondere für die oben erwähnten Zusammensetzungen, hinreichend weit entfernt von den Sprungtemperaturen, bei deren Unterschreitung die Zusammensetzungen jeweils erst supraleitfähig werden. Unter entsprechenden Randbedingungen, insbesondere bei entsprechend zuverlässigen Kühlmaßnahmen und unter Gewährleistung ausreichend reproduzierbarer Supraleitungseigenschaften des keramischen Supraleiters bei erhöhter Temperatur, kann die

Temperatur an der Verbindungsstelle zwischen dem ersten und dem zweiten Teilleiter deutlich höher als 20 K vorgesehen werden, insbesondere bis etwa 70 K. Dabei ist eine erweiterte Ausnutzung der bereits erwähnten vorteilhaften Eigenschaften des keramischen Supraleiters möglich. Grundsätzlich kann die Temperatur an der Verbindungsstelle bis zur maßgeblichen kritischen Temperatur des keramischen Supraleiters gesteigert werden.

Darüber hinaus ist die Stromzuführung bevorzugtermaßen eingerichtet zur Kühlung mit gasförmigem Helium, wobei diese Kühlung sowohl erfolgen kann durch Helium, welches einem Bad flüssigem Heliums, in dem sich das Verbrauchersystem befindet, entströmt, als auch durch Helium, welches durch eine der Stromzuführung besonders zugeordnete Kältemaschine auf entsprechende Temperaturen gebracht wird.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung geht aus der Zeichnung hervor. Das Ausführungsbeispiel ist in Fig. 2 vollständig dargestellt, Fig. 1 zeigt einen Ausschnitt des Ausführungsbeispiels mit dem supraleitfähigen zweiten Teilleiter.

In beiden Figuren tragen einander entsprechende Teile jeweils dasselbe Bezugszeichen; insoweit gelten die folgenden Ausführungen gleichermaßen für Fig. 1 und Fig. 2.

Wie aus Fig. 1 im einzelnen erkennbar, beinhaltet die erfindungsgemäße Stromzuführung einen supraleitfähigen Teilleiter 1, der zwischen einem oberen Kontaktschuh 2 aus Kupfer und einem unteren Kontaktschuh 3, ebenfalls aus Kupfer, eingefaßt ist. Der erste Teilleiter 1 besteht aus einem keramischen Hochtemperatursupraleiter, und zwar einem Stoff der Zusammensetzung $\text{Bi}_2\text{Ca}_2\text{SrCu}_2\text{O}_x$, wobei der Wert x in an sich bekannter Weise so einzustellen ist, daß die Verbindung supraleitfähig ist. In diesem Zusammenhang ist bekannt, daß zum Erhalt eines keramischen Hochtemperatursupraleiters der Gehalt an Sauerstoff sehr sorgfältig einzustellen ist, da dieser die Kristallstruktur der entstehenden Verbindung und damit ihre Eignung zur Supraleitung wesentlich bestimmt. Entsprechende Maßnahmen, die auch und insbesondere die Herstellung keramischer Hochtemperatursupraleiter im großtechnischen Maßstab erlauben, sind bekannt und bedürfen daher an dieser Stelle keiner weiteren Erläuterung. Auch zur Herstellung hinreichend niederohmiger Kontakte, an denen der keramische Supraleiter mit weiteren Komponenten der Stromzuführung verbunden werden kann, wird auf das einschlägige Fachwissen Bezug genommen.

Sowohl zum mechanischen Schutz des keramischen Supraleiters sowie zur Bereitstellung eines im Notfall nutzbaren Pfades für den durch die Stromzuführung zu leitenden Strom ist der keramische Supraleiter 1 umgeben von einer aus Edelstahl bestehenden Hülse 4, die über rohrförmige Adapter 5 und 6 an die Kontaktschuhe 2 und 3 angeschlossen ist. Sowohl der obere Adapter 5 als auch der untere Adapter 6 sind rohrförmig und bestehen vorzugsweise aus Edelstahl. Allfällig notwendige formschlüssige Verbindungen zwischen der Hülse 4 und den Adaptern 5 und 6 sind beispielsweise durch WIG-Schweißen herstellbar. Der untere Kontaktschuh 3 ist nicht unmittelbar an den Adapter 6 angelenkt; der Adapter 6 ist unmittelbar verbunden mit einem Zwischenstück 7, welches über ein Federelement 8 mit dem unteren Kontaktschuh 3 verbunden ist. Sowohl das Zwischenstück 7 als auch das Federelement 8 bestehen aus Kupfer. Das Federelement 8 ist ein Balg und ist an dem unteren Kontaktschuh 3 angeordnet, da es dort beim

Betrieb der Stromzuführung auf der geringstmöglichen Temperatur liegt und dementsprechend seinen kleinstmöglichen elektrischen Widerstand hat. Auf diese Weise ist sichergestellt, daß die thermische Belastung der Stromzuführung und eines daran angeschlossenen Verbrauchersystems durch das Federelement geringstmöglich ist. Zum Anschluß des Verbrauchersystems dient das an das Zwischenstück 7 angeschlossene Kontaktstück 9.

Der obere Kontaktschuh 2, der untere Kontaktschuh 3, das Zwischenstück 7, das Federelement 8 und das Kontaktstück 9 haben zugehörige Bohrungen 10, 11, 12, 13 bzw. 14, um einen Strömungsweg zu schaffen für gasförmiges Helium, welches die Stromzuführung von dem Kontaktstück 9 bis zu dem oberen Kontaktschuh 2 und weiter durch den normal leitenden Teil durchströmen kann, oder um Sensoren zur Überwachung der Stromzuführung anschließen zu können. Wie anhand der Fig. 2 noch weiter erläutert wird, ist hauptsächlich daran gedacht, die Stromzuführung zu kühlen durch eine Kältemaschine, in die die Stromzuführung eingesetzt und mit deren Hilfe sie an zwei Stellen 21, 22 thermisch verankert, d. h. auf definierten Temperaturen gehalten, wird. Für den Fall, daß die Kältemaschine ausfällt, soll allerdings eine Möglichkeit gegeben sein zur Kühlung der Stromzuführung mittels strömenden gasförmigen Heliums. Zu diesem Zweck dienen die Bohrungen 10, 12, 13 und 14. In der Bohrung 11 ist z. B. ein Sensor oder ein einfacher Draht zur Messung einer elektrischen Spannung über der Stromzuführung und/oder einem angeschlossenen Verbrauchersystem installierbar. Es sei bemerkt, daß der Einfachheit und der Übersicht halber in dem oberen Kontaktschuh 2, dem unteren Kontaktschuh 3 und dem Federelement 8 jeweils nur eine einzige Bohrung 10, 11 oder 13 gezeichnet ist; selbstverständlich kann jeweils statt einer Bohrung eine Vielzahl von einander parallel liegenden Bohrungen vorgesehen sein. Schließlich sei hingewiesen auf ein in dem oberen Kontaktschuh 2 eingebrachtes Gewinde 15, an dem der Kontaktschuh 2 mit weiteren Teilen der Stromzuführung verbunden werden kann. Solche Gewinde können auch an weiteren Teilen, z. B. am Zwischenstück 7, vorgesehen sein.

Fig. 2 zeigt die gesamte Stromzuführung; an deren unterem Ende sind die bereits erwähnten Komponenten, nämlich der zweite Teilleiter 1, der obere Kontaktschuh 2, der untere Kontaktschuh 3, die Hülle 4, das Zwischenstück 7 und das Kontaktstück 9 erkennbar. Das Kontaktstück 9 liegt am unteren Ende der Stromzuführung und ist steckbar an das Verbrauchersystem anzuschließen, dem über die Stromzuführung elektrischer Strom zugeführt werden soll. Alternativ kann dazu eine Schraubverbindung oder Lötverbindung vorgesehen sein.

An dem oberen Kontaktschuh 2 ist der Supraleiter 1 verbunden mit dem normal leitenden ersten Teilleiter 16 in Form eines Rohrs aus einer Aluminiumlegierung, welches an dem von dem zweiten Teilleiter 1 abgewandten Ende in einem Endstück 17 endet. Dieses Endstück 17 dient dem Anschluß einer Stromquelle, z. B. eines Netzgerätes oder dergleichen. Das Endstück 17 sitzt kraftschlüssig und dichtend in einem einen Flansch aufweisenden Adapter 18, der zur Einpassung der Stromzuführung in einen Kryostaten dient. Der Adapter 18 kann eventuell auch zur elektrischen Isolierung dienen und müßte dann aus einem entsprechenden Werkstoff, z. B. einem Kunststoff wie PTFE oder PVC, gegebenenfalls verstärkt mit Glasfasern, bestehen. Das Endstück 17 hat

eine Bohrung 19, die mit den im Zusammenhang mit Fig. 1 erwähnten Bohrungen 10 bis 14, dem Zwischenraum zwischen dem Supraleiter 1 und der Hülle 4 und dem Inneren des ersten Teilleiters 16 einen Strömungsweg für strömendes gasförmiges Helium bildet, wobei das Helium die Kühlung der Stromzuführung zumindest im Notfall sicherstellen soll. Das Endstück 17 hat außerdem eine Paßbohrung 20, in die eine übliche Heizpatrone oder dergleichen, insbesondere zur Verhinderung einer Vereisung, eingebracht werden kann. Auf dem ersten Teilleiter 16 übereinander angebracht sind Konen 21 und 22, die der thermischen Anbindung des ersten Teilleiters 16 an verschiedene Stufen einer Kühlmaschine zur Kühlung der Stromzuführung, alternativ der Anbindung an Wärmeschutzschilde eines Kryostaten, dienen. Zur galvanischen Trennung der Konen 21 und 22 von der Stromzuführung ist auf dem ersten Teilleiter 16 eine elektrisch isolierende Schicht vorgesehen; diese Schicht besteht im wesentlichen aus Aluminiumoxid und ist hergestellt durch anodisches Oxidieren. Der obere Konus 21 wird auf einer Temperatur von etwa 65 K gehalten; dies kann bewerkstelligt sein durch Anbindung an eine entsprechende Stufe einer Kühlmaschine oder einen entsprechend positionierten Wärmestrahlungsschild. Der untere Konus 22 wird gehalten auf einer Temperatur von etwa 20 K, wiederum durch Anbindung an eine entsprechende Stufe einer Kühlmaschine oder einen entsprechenden Hitzeschild. Der untere Konus 22 markiert auch den Punkt, bis zu dem der Supraleiter 1 reicht. Die Verbindung zwischen dem ersten Teilleiter 16 und dem zweiten Teilleiter 1 kann prinzipiell auch an dem ersten Konus 21 angeordnet werden, vgl. obige Ausführungen zum Vorsehen einer erhöhten Temperatur an der Verbindung. In diesem Fall kann gegebenenfalls der untere Konus 22 entfallen und eine vereinfachte Ausführung der Stromzuführung erreicht werden.

Mechanisch verankert wird die Stromzuführung an einem Verankerungsteil 23, welches in unmittelbarer Nähe des oberen Konus 21 auf dem ersten Teilleiter 16 aufsitzt. Auf diese Weise ergibt sich eine Verankerung, die den möglichen Wärmedehnungen der Stromzuführung sowie der Einrichtung, in die sie eingebracht ist, am besten Rechnung trägt und so wenig wie möglich mechanische Spannungen entstehen läßt.

Patentansprüche

1. Stromzuführung zur Verbindung eines auf einer Tieftemperatur unterhalb von 10 K befindlichen Verbrauchersystems mit einer auf einer Normaltemperatur oberhalb von 270 K befindlichen Stromquelle, umfassend einen normalleitfähigen ersten Teilleiter (16) und einen zwischen diesen und das Verbrauchersystem geschalteten, supraleitfähigen zweiten Teilleiter (1), dadurch gekennzeichnet, daß der zweite Teilleiter (1) zumindest teilweise aus einem keramischen Supraleiter (1) besteht.
2. Stromzuführung nach Anspruch 1, bei der der Supraleiter (1) ein Hochtemperatursupraleiter (1) ist.
3. Stromzuführung nach Anspruch 2, bei der der Hochtemperatursupraleiter (1) eine Zusammensetzung aus Wismut, Calcium, Strontium, Kupfer und Sauerstoff, insbesondere $\text{Bi}_2\text{Ca}_2\text{SrCu}_2\text{O}_x$ ist.
4. Stromzuführung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der der Supraleiter (1) mit Kontaktschuhen (2, 3) aus Kupfer kontaktiert ist.

5. Stromzuführung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der der Supraleiter (1) von einer metallischen Hülse (4) umgeben und mit dieser kraftschlüssig verbunden ist.
6. Stromzuführung nach Anspruch 5, bei der die Hülse (4) dem Supraleiter (1) parallelgeschaltet ist. 5
7. Stromzuführung nach Anspruch 5 oder 6, bei der die Hülse (4) aus Edelstahl besteht.
8. Stromzuführung nach einem der Ansprüche 5 bis 7, bei der der Supraleiter (1) über zumindest ein Federelement (8), welches vorzugsweise aus Kupfer besteht, mit der Hülse (4) verbunden ist. 10
9. Stromzuführung nach Anspruch 8, bei dem der Supraleiter (1) an einem auf die Tieftemperatur abzukühlenden Ende mit dem Federelement (8) verbunden ist. 15
10. Stromzuführung nach einem der Ansprüche 5 bis 9, bei dem die Hülse (4) ausgelegt ist zur kurzzeitigen Leitung eines Stromes, welcher einem Nennstrom entspricht, für dessen Leitung die Stromzuführung ausgelegt ist. 20
11. Stromzuführung nach Anspruch 10, bei der die Hülse (4) ausgelegt ist zur Leitung des Stromes mit einer Stromdichte von höchstens 15 A/mm², vorzugsweise von höchstens 10 A/mm². 25
12. Stromzuführung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der der erste Teilleiter (16) ein metallisches Rohr (16) ist.
13. Stromzuführung nach Anspruch 11 oder 12, bei der der erste Teilleiter (16) aus einer Legierung, insbesondere einer Aluminiumbasislegierung, vorzugsweise AlMg3, besteht. 30
14. Stromzuführung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der der erste Teilleiter (16) und der zweite Teilleiter (1) an einer Verbindungsstelle (2) miteinander verbunden sind, welche auf eine Temperatur von etwa 20 K abzukühlen ist. 35
15. Stromzuführung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, welche eingerichtet ist zur Kühlung mit gasförmigem Helium. 40

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

45

50

55

60

65

- Leerseite -

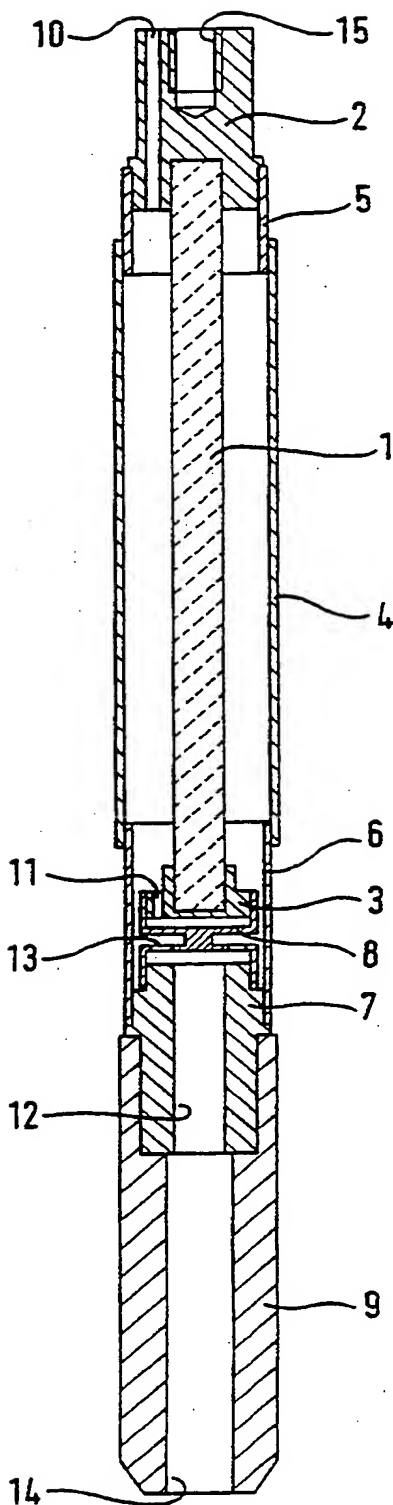


FIG 1

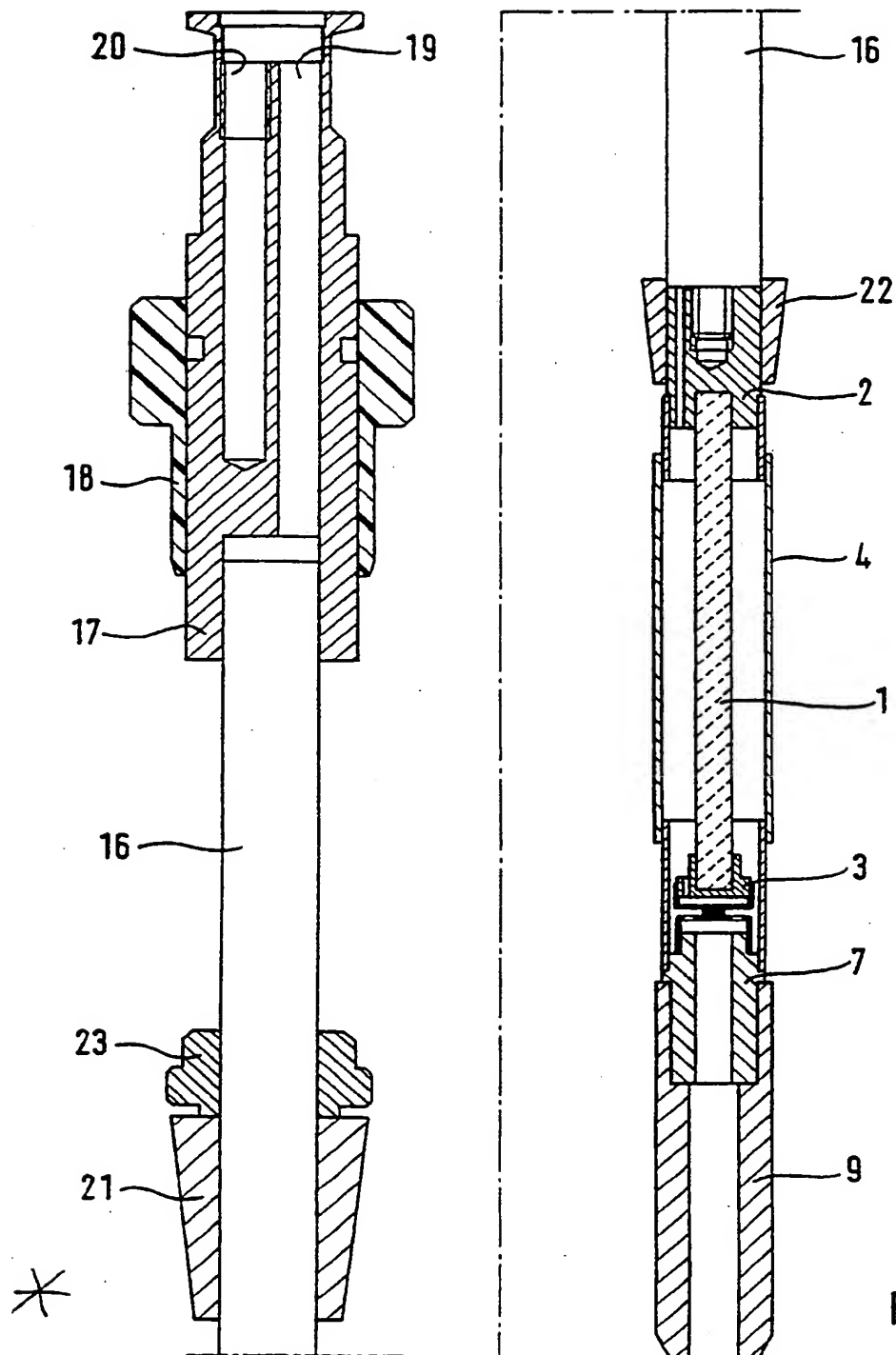


FIG 2